

대한민국 특허청
KOREAN INTELLECTUAL
PROPERTY OFFICE

10857 U.S. PRO
10/051375
01/17/02

별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto
is a true copy from the records of the Korean Intellectual
Property Office.

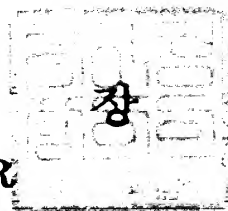
출원번호 : 특허출원 2001년 제 48463 호
Application Number PATENT-2001-0048463

출원년월일 : 2001년 08월 11일
Date of Application AUG 11, 2001

출원인 : 한국표준과학연구원
Applicant(s) KOREA RESEARCH INSTITUTE OF STANDARDS AND SCIENCE

2001 년 11 월 16 일

특 허 청
COMMISSIONER



【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【제출일자】	2001.08.11
【국제특허분류】	G01J 9/02
【발명의 명칭】	2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정방법 및 비선형 오차 보상방법 그리고 이를 이용한 길이 측정을 위한 위상각 측정방법 및 측정시스템
【발명의 영문명칭】	Method and system for correcting the non-linearity error in a two-frequency laser interferometer
【출원인】	
【명칭】	한국표준과학연구원
【출원인코드】	3-1998-007764-4
【대리인】	
【성명】	박만순
【대리인코드】	9-1998-000234-8
【포괄위임등록번호】	1999-041592-5
【발명자】	
【성명의 국문표기】	엄태봉
【성명의 영문표기】	EOM, Tae Bong
【주민등록번호】	580319-1351111
【우편번호】	305-345
【주소】	대전광역시 유성구 신성동 한울아파트 107-304
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	서호성
【성명의 영문표기】	SUH, Ho Suhng
【주민등록번호】	560829-1683524
【우편번호】	302-761
【주소】	대전광역시 서구 내동 롯데아파트 101-201
【국적】	KR

【발명자】

【성명의 국문표기】

최태영

【성명의 영문표기】

CHOI, Tae Young

【주민등록번호】

730923-1447018

【우편번호】

302-280

【주소】

대전광역시 서구 월평동 437

【국적】

KR

【취지】

특허법 제42조의 규정에 의하여 위와 같이 출원합니다. 대리인
박만순 (인)

【수수료】

【기본출원료】

20 면 29,000 원

【가산출원료】

27 면 27,000 원

【우선권주장료】

0 건 0 원

【심사청구료】

0 항 0 원

【합계】

56,000 원

【감면사유】

정부출연연구기관

【감면후 수수료】

28,000 원

【첨부서류】

1. 요약서·명세서(도면)_1통

【요약서】

【요약】

본 발명은 2 주파수 레이저 간섭계에서의 비선형 오차 보상 및 이를 이용한 위상각 측정방법에 관한 것으로, 2 주파수 레이저 간섭계의 비선형 오차 보정부에서 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')의 진폭 a, b 와 오프셋 I_{x0}, I_{y0} 그리고 위상차 φ 등의 타원계수를 계산하는 제 1단계와, 상기 출력신호(I_x')(I_y')와 타원계수로부터 출력신호(I_x')(I_y')의 오프셋과 진폭 그리고 위상을 보정하기 위한 조정 전압을 계산하는 제 2단계와, 상기 조정 전압에 의해 상기 비선형 오차 보정부에서 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')의 오프셋 I_{x0}, I_{y0} 가 '0'이 되고, 진폭 a, b 가 동일한 값을 갖으며, 출력신호(I_x')(I_y') 사이에서 90° 를 벗어난 위상차 φ 가 '0'이 되도록 보정하는 제 3단계 및 상기 출력신호(I_x')(I_y')의 오프셋, 진폭, 위상이 보정된 출력신호(I_x)(I_y)를 수학식($\theta = \arctan(I_y/I_x)$)에 적용하여 위상각(θ)을 계산하는 제 4단계로 구성된 것이다.

본 발명에 의하면, 2 주파수 레이저 간섭계에서 발생하는 주기적인 비선형 오차를 출력신호의 오프셋, 진폭, 위상 등의 보정으로 제거함으로써 2 주파수 레이저 간섭계를 이용한 길이 측정의 정확도를 크게 향상시킬 수 있는 것이다.

【대표도】

도 5

【색인어】

간섭계, 위상각, 거리, 오프셋, 진폭, 위상, 비선형, 오차.

【명세서】

【발명의 명칭】

2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정방법 및 비선형 오차 보상방법 그리고 이를 이용한 길이 측정을 위한 위상각 측정방법 및 측정시스템{Method and system for correcting the non-linearity error in a two-frequency laser interferometer}

【도면의 간단한 설명】

도 1은 종래의 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정시스템을 나타낸 구조도이다.

도 2는 광학계 및 전자계에서 비선형 오차가 없을 때 90° 위상 혼합부에서 출력되는 완벽한 코사인 및 싸인 신호의 두 출력신호(I_X)(I_Y)로서, 오프셋(offset)이 없고, 진폭이 같으며, 두 출력신호(I_X)(I_Y)의 위상 차이가 90° 인 일 예이다.

도 3은 도 2에서의 두 출력신호(I_X)(I_Y)에 대한 리샤쥬 그림(Lissajous figure)으로서, 비선형 오차가 없을 때 완벽한 원으로 나타난다.

도 4는 본 발명에 의한 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정시스템을 나타낸 구조도이다.

도 5는 본 발명에 의한 2 주파수 레이저 간섭계에서의 비선형 오차 보상방법 및 이를 이용한 길이 측정을 위한 위상각 측정방법과 이를 위한 측정시스템을 나타낸 구조도이다.

도 6은 광학계 및 전자계에서 비선형 오차가 있을 때 90° 위상 혼합부의 두 출력 신호(I_x')(I_y')로서, 오프셋(offset)이 있고, 진폭이 다르며, 두 출력신호(I_x')(I_y')의 위상차이가 90° 가 안 되는 일 예이다.

도 7은 도 5에서의 두 출력신호(I_x')(I_y')에 대한 리샤쥬 그림(Lissajous figure)으로서, 비선형 오차가 있을 때 찌그러진 타원으로 나타난다.

도 8은 본 발명에 의한 보정으로 비선형 오차가 축소됨을 보여주는 도면으로서, 도면에서 점선은 보정 이전의 비선형 오차를, 그리고 실선은 보정 이후의 잔류된 비선형 오차를 나타낸다.

도 9는 전기용량식 길이측정기(Capacitance-type displacement sensor)와 레이저 간섭계와의 길이측정값의 차이를 비교한 예로서, 본 발명으로 비선형 오차를 보정하기 이전의 주기적인 오차를 보여 준다.

※ 도면의 주요 부분에 대한 부호 설명 ※

1 : 레이저(Frequency stabilized laser)

2 : 광분리기(Beamsplitter) 3 : 편광 광분리기(Polarizing beamsplitter)

4a,4b : 거울(mirror) 5a,5b : 편광판(Polarizer)

6a,6b : 광검출기(Photodetector) 7 : 90° 위상 변환기(90° phase shifter)

8a,8b : 믹서(Mixer) 9a,9b : 저주파 필터(Low-pass filter)

11a,11b : 오프셋 보정기(Offset adjustment)

12a,12b : 진폭 보정기(Amplitude adjustment)

13 : 위상 보정기(Phase adjustment)

14 : A/D 변환기(Analog-to-digital converter)

15 : D/A 변환기(Digital-to-analog converter)

16 : 메모리(lookup table) 100 : 간섭계

200 : 90° 위상 혼합부 300 : 비선형 오차 보정부

400 : 위상각 측정용 마이크로 프로세서

【발명의 상세한 설명】

【발명의 목적】

【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

<24> 본 발명은 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정방법 및 비선형 오차 보상방법 그리고 이를 이용한 위상각 측정방법과 측정시스템에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 정밀하고 정확한 길이 측정에 사용되는 2 주파수 레이저 간섭계에서 발생하는 주기적인 비선형 오차 즉, 옅셋, 진폭, 위상 등을 보정함으로써 길이 측정의 정확도를 향상시킬 수 있도록 하는 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정방법 및 비선형 오차 보상방법 그리고 이를 이용한 위상각 측정방법과 측정시스템에 관한 것이다.

<25> 도 1은 2 주파수 레이저 간섭계를 길이 측정에 적용하였을 경우의 광학계 및 전자계의 전형적인 구조도이다.

<26> 레이저(1)에서 발진되며, 서로 직교하고 선형 편광을 가지는 두 주파수의 레이저 광속(이하에서는, 서로 다른 주파수를 가지는 레이저 광속의 주파수를 각각 ω_1 과 ω_2 라 하고, 이에 대응되는 파장을 각각 λ_1 과 λ_2 라 하며, 진폭을 각각 A

와 B라 하며, 초기 위상을 각각 φ_1 과 φ_2 라 한다.)은 광분리기(2)에 의해 둘로 분리되는데, 이는 길이 측정을 위한 기준광과 측정광으로 사용된다.

<27> 상기 광분리기(2)에 의해 반사 분리된 기준광은 레이저 편광축에 대하여 45° 로 놓인 편광판(5a)을 통과한 후 광 검출기(6a)에 입사하게 된다.

<28> 이때 두 레이저 광속의 전자기장(E_{r1})(E_{r2})은 아래의 수학적식 1,2와 같이 표현된다.

<29> **【수학적식 1】** $E_{r1} = A \exp[i(\omega_1 t + \theta_A)]$

<30> **【수학적식 2】** $E_{r2} = B \exp[i(\omega_2 t + \theta_B)]$

<31> 이러한 광검출기(6a)의 출력(I_r)은 아래의 수학적식 3과 같이 표현되는 두 레이저 광속의 간섭신호로 검출되게 된다.

<32> **【수학적식 3】** $I_r \propto (A^2 + B^2)/2 + AB \cos[\Delta\omega t + (\theta_B - \theta_A)]$

<33> 여기서, $\Delta\omega$ 는 두 레이저 광속의 주파수 차($\omega_1 - \omega_2$)이고, 수학적식 3의 신호는 기준신호로 사용된다.

<34> 또한, 광 분리기(2)를 통과한 레이저 광속은 편광 광분리기(3)에 의해 완벽하게 둘로 분리되어 주파수 혼합(frequency mixing) 없이 일반적으로 코너큐브 프리즘(corner cube prism)을 사용하는 거울(4a)(4b)로 각각 진행하게 된다. 그리고, 이 레이저 광속은 고정거울(4a)과 이동거울(4b)에 의해 각각 반사된 후 다시 편광 광분리기(3)에서 혼합되어 간섭된다.

<35> 여기서, 두 레이저 광속은 다른 광경로(L_1)(L_2)(여기서, L_1 은 편광 분리기(3)에서 고정거울(4a)까지의 거리를, 그리고 L_2 는 이동거울(4b)까지의 거리를 일컫는다.)를 갖게 되는데, 이 레이저 광속은 편광판(5b)을 통과한 후 광검출기(6b)에서 두 레이저 광속의 간섭신호가 검출되게 된다.

<36> 이때 두 레이저 광속의 전자기장(E_{m1})(E_{m2})은 아래의 수학적식 4,5와 같이 표현된다.

<37> **【수학적식 4】** $E_{m1} = A \exp[i(\omega_1 t + \theta_A)]$

<38> **【수학적식 5】** $E_{m2} = B \exp[i(\omega_2 t + \theta_B + \theta)]$

<39> 이러한 광검출기(6a)의 출력(I_m)은 위의 수학적식 4,5로 표현되는 두 레이저 광속의 간섭신호로 검출되는데, 이는 아래의 수학적식 6과 같이 표현되며, 측정신호로 사용된다.

<40> **【수학적식 6】** $I_m \propto (A^2 + B^2)/2 + AB \cos[\Delta\omega t + (\theta_B - \theta_A) + \theta]$

<41> 여기서, θ 는 위상각으로서, 반사경인 두 거울(4a)(4b) 사이의 광경로차(L)에 의해 발생되며, 이는 아래의 수학적식 7과 같이 표현할 수 있다.

<42> **【수학적식 7】** $\theta = 4\pi nL/\lambda$

<43> 여기서, n 은 레이저 광속이 통과하는 매질(보통, '공기'를 말한다.)의 굴절률이고, L 은 두 거울(4a)(4b) 사이의 광경로차($L_1 - L_2$)이다. 위의 수학적식 3과 6은 두 광속의 주파수 차인 $\Delta\omega$ 의 맥놀이 주파수(beat frequency)를 갖는 정현파의 신호(sinusoidal signal)로 서로 다른 위상을 갖는다.

<44> 따라서, 거울의 이동거리 L 은 두 간섭신호, 즉 수학식 3의 I_r 과 수학식 6의 I_m 사이의 위상차(θ)를 측정함으로써 결정된다. 위의 위상차(θ)를 측정하는 방법으로서는 여러 기술이 있으나, 여기서는 본 발명과 관련이 있는 90° 위상 혼합법을 설명하기로 한다.

<45> 먼저, 90° 위상 변환기(7)와 두 개의 믹서(8a)(8b)로 구성되며, 록인 증폭기(lockin-amplifier)에서 사용되는 90° 위상 혼합부는 두 맥놀이 신호(I_r)(I_m)

<46> 를 입력받아 위상각(θ)의 싸인(sine)과 코싸인(cosine)에 비례하는 신호를 출력하게 된다. 여기서, 90° 의 위상 차이가 나는 싸인, 코싸인 신호는 이동거울의 이동량과 방향을 측정하는데 이용된다.

<47> 다시 말하면, 광검출기(6a)로부터의 기준 맥놀이 신호(I_r)는 원래의 기준 맥놀이 신호와 90° 위상 변환기(7)에 의해 90° 위상이 바뀐 기준 맥놀이 신호로 나누어지고, 하지만 광검출기(6b)로부터의 측정 맥놀이 신호(I_m)는 동일한 위상을 갖는 두 신호로 나누어진다. 위와 같은 4개의 기준 및 측정 맥놀이 신호는 두 개의 믹서(8a)(8b)에 의해 서로 곱해져 아래의 수학식 8, 9와 같은 두 신호로 출력되게 된다.

<48> **【수학식 8】** $I_y \propto \cos(\Delta\omega t) \cos(\Delta\omega t + \theta)$

<49> **【수학식 9】** $I_x \propto \sin(\Delta\omega t) \cos(\Delta\omega t + \theta)$

<50> 위의 신호(I_x)(I_y) 중 고주파 성분이 저주파 필터(9a)(9b)를 통과하면서 제거되어 위상각(θ)만을 포함한 아래의 수학식 10, 11과 같은 신호(I_x)(I_y)가 저주파 필터(9)로부터 출력되게 된다.

<51> **【수학식 10】** $I_Y \propto \cos\theta$

<52> **【수학식 11】** $I_X \propto \sin\theta$

<53> 위의 수학식 10과 11의 신호(I_X)(I_Y)를 보면, 이는 도 2와 같이 두 신호 사이에 90° 의 위상 차이를 갖고며, 진폭이 같고 오프셋이 없는 완벽한 싸인, 코싸인 신호를 갖게 된다. 또한, 위의 신호(I_X)(I_Y)를 직교 좌표계의 X, Y축에 대응하여 그린 리샤쥬 그림은 도 3과 같이 완벽한 원을 그리게 된다.

<54> 지금까지 설명한 종래의 90° 위상 혼합법에 의하면, 편광 광분리기(3)에 의해 주파수가 다른 두 레이저 광속(ω_1)(ω_2)이 완벽하게 분리되는 이상적인 경우에 비선형 오차가 없이 길이 측정용 간섭계에 적용될 수 있다.

<55> 그러나, 이와 같이 주파수 혼합 없이 비선형 오차가 발생되지 않는 이상적인 조건은 실제 상황에서 달라진다. 즉, 레이저(1)로부터의 레이저 광속의 비직교성(non-orthogonality of the polarization)과 타원성(elliptical polarization), 편광 광분리기(3)의 잘못된 정렬과 불완전성으로 인하여, 두 주파수의 성분이 편광 광분리기(3)에서 완벽하게 분리되지 않고 다른 주파수 성분이 일부 섞이게 된다.

<56> 이와 같은 주파수 혼합(frequency mixing)에 의해 측정된 위상각(θ)과 실제 두 거울 사이의 상대적인 이동거리(L) 사이에 비선형적인 관계를 갖게 된다. 이것은 계산된 거리(L)가 주기적인 비선형 오차를 갖게 됨을 의미한다.

<57> 이와 같이 종래의 90° 위상 혼합기술을 사용한 2 주파수 레이저 간섭계는 주파수 혼합에 의한 비선형 오차를 고려하지 않고 사용하기 때문에 길이 측정에 오차가 발생되는 등의 문제가 있다.

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

<58> 상기한 바와 같은 종래의 문제점을 해결하기 위한 본 발명은 90° 위상 혼합기술을 사용한 2 주파수 레이저 간섭계에서 발생하는 비선형 오차를 측정하여 싸인, 코 싸인 두 출력신호의 옅셋, 진폭, 위상 등을 보정함으로써 2 주파수 레이저 간섭계의 정확도를 향상시키고자 하는 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정방법 및 비선형 오차 보상방법 그리고 이를 이용한 길이 측정을 위한 위상각 측정방법 및 측정시스템을 제공하는데 그 목적이 있다.

【발명의 구성 및 작용】

<59> 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 하나의 실시예는, 2 주파수 레이저 간섭계와 90° 위상 혼합부 및 위상각 측정용 마이크로 프로세서를 구비하며, 고정 및 이동거울에 반사된 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 길이 측정을 위한 측정신호(I_m)에 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 기준신호(I_r)와 90° 위상 변환된 기준신호(I_r)를 혼합한 후 이로부터 고주파 성분을 필터링하여 출력신호(I_x')(I_y')를 생성하고, 이로부터 길이 측정을 위한 위상각(θ)을 구하는 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정방법에 있어서, 상기 90° 위상 혼합부에서 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')와, 이에 포함되어 있는 진폭 a, b 와 옅셋 I_{x0}, I_{y0} 그리고 위상차 ϕ 등의 타원계수를 구하고, 이를 아래의 수학식에 적용하여 위상각(θ)을 계산하는 것을 특징으로 한다.

$$\langle 60 \rangle \quad \theta = \tan^{-1} [\cos \phi + (b/a)(I_x' - I_{xo}) / (I_y' - I_{yo})]$$

$\langle 61 \rangle$ 본 발명의 다른 실시예는, 2 주파수 레이저 간섭계와 90° 위상 혼합부 및 위상각 측정용 마이크로 프로세서를 구비하며, 고정 및 이동거울에 반사된 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 길이 측정을 위한 측정신호(I_m)에 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 기준신호(I_r)와 90° 위상 변환된 기준신호(I_r)를 혼합한 후 이로부터 고주파 성분을 필터링하여 출력신호(I_x')(I_y')를 생성하고, 이로부터 길이 측정을 위한 위상각(θ)을 구하는 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정방법에 있어서, 상기 90° 위상 혼합부에서 출력되는 여러 가지의 출력신호(I_x')(I_y')와, 이에 포함되어 있는 진폭 a, b 와 오프셋 I_{xo}, I_{yo} 그리고 위상차 ϕ 등의 타원계수를 아래의 수학식에 적용하여 위상각(θ)을 계산한 후 각 출력신호(I_x')(I_y')와 이로부터 계산된 위상각(θ)을 한 쌍으로 하는 룩업 테이블(lookup table)을 작성하여, 위상각(θ)을 측정할 때 상기 90° 위상 혼합부에서 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')와 한 쌍을 이루는 위상각(θ)을 상기 룩업 테이블로부터 읽어내는 것을 특징으로 한다.

$$\langle 62 \rangle \quad \theta = \tan^{-1} [\cos \phi + (b/a)(I_x' - I_{xo}) / (I_y' - I_{yo})]$$

$\langle 63 \rangle$ 본 발명의 또 다른 실시예는, 2 주파수 레이저 간섭계와 90° 위상 혼합부 및 위상각 측정용 마이크로 프로세서를 구비하며, 고정 및 이동거울에 반사된 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 길이 측정을 위한 측정신호(I_m)에 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 기준신호(I_r)와 90° 위상 변환된 기준신호(I_r)를 혼합한 후 이로부터 고주파 성분을 필터링하여 출력신호(I_x')(I_y')를 생성하고, 이

로부터 길이 측정을 위한 위상각(θ)을 구하는 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 비선형 오차 보상방법에 있어서, 상기 비선형 오차 보정부에서 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')의 진폭 a, b 와 오프셋 I_{x0}, I_{y0} 그리고 위상차 φ 등의 타원계수를 계산하는 제 1단계와, 상기 출력신호(I_x')(I_y')와 타원계수로부터 출력신호(I_x')(I_y')의 오프셋과 진폭 그리고 위상을 보정하기 위한 조정 전압을 계산하는 제 2단계와, 상기 조정 전압에 의해 상기 비선형 오차 보정부에서 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')의 오프셋 I_{x0}, I_{y0} 가 '0'이 되고, 진폭 a, b 가 동일한 값을 갖으며, 출력신호(I_x')(I_y') 사이에서 90° 를 벗어난 위상차 φ 가 '0'이 되도록 보정하는 제 3단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

<64> 본 발명의 또 다른 실시예는, 2 주파수 레이저 간섭계와 90° 위상 혼합부 및 위상각 측정용 마이크로 프로세서를 구비하며, 고정 및 이동거울에 반사된 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 길이 측정을 위한 측정신호(I_m)에 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 기준신호(I_r)와 90° 위상 변환된 기준신호(I_r)를 혼합한 후 이로부터 고주파 성분을 필터링하여 출력신호(I_x')(I_y')를 생성하고, 이로부터 길이 측정을 위한 위상각(θ)을 구하는 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정방법에 있어서, 상기 비선형 오차 보정부에서 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')의 진폭 a, b 와 오프셋 I_{x0}, I_{y0} 그리고 위상차 φ 등의 타원계수를 계산하는 제 1단계와, 상기 출력신호(I_x')(I_y')와 타원계수로부터 출력신호(I_x')(I_y')의 오프셋과 진폭 그리고 위상을 보정하기 위한 조정 전압을 계산하는 제 2단계와, 상기 조정 전압에 의해 상기 비선형 오차 보정부에서 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')의 오프셋 I_{x0}, I_{y0} 가 '0'이 되고, 진폭 a, b 가 동일한 값을 갖

으며, 출력신호(I_x')(I_y') 사이에서 90° 를 벗어난 위상차 φ 가 '0'이 되도록 보정하는 제 3단계 및 상기 출력신호(I_x')(I_y')의 옅셋, 진폭, 위상이 보정된 출력신호(I_x)(I_y)를 아래의 수학식에 적용하여 위상각(θ)을 계산하는 제 4단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

$$<65> \theta = \arctan(I_y/I_x)$$

<66> 이하에서는 본 발명의 여러 실시예를 설명할 때 종래의 구성과 동일한 간섭계(100)와 90° 위상 혼합부(200)에 대한 구체적인 설명은 생략하고, 동일한 구성요소에 대해서는 동일한 부호를 부여한다.

<67> 도 4 및 도 5를 참조하면, 본 발명은 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 기준신호(I_r)와 고정 및 이동거울(4a)(4b)에 반사된 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 길이 측정을 위한 측정신호(I_m)를 출력하는 2 주파수 레이저 간섭계(100)와, 상기 간섭계(100)에서 출력되는 측정신호(I_m)에 기준신호(I_r)와 90° 위상 변환

된 기준신호(I_r)를 각각 혼합한 후 고주파 성분을 필터링하여 위상 감지를 위한 출력신호(I_x')(I_y')를 출력하는 90° 위상 혼합부(200)와, 하기의 위상각 측정용 마이크로 프로세서(400)로부터 조정 전압을 입력받아 비선형 오차 보정부(300)를 통해 피드백(feedback)되는 출력신호(I_x')(I_y')의 오프셋 I_{xo}, I_{yo} 가 '0'이 되고, 진폭 a, b 가 동일한 값을 갖으며, 출력신호(I_x')(I_y') 사이에서 90°를 벗어난 위상차 φ 가 '0'이 되도록 보정하는 비선형 오차 보정부(300) 및 상기 비선형 오차 보정부(300)에서 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')를 피드백 받아 상기 출력신호(I_x')(I_y')의 진폭 a, b 와, 오프셋 I_{xo}, I_{yo} 그리고 위상차 φ 등의 타원계수를 구하고, 이로부터 출력신호(I_x')(I_y')의 진폭과 오프셋, 위상을 보정하기 위한 조정 전압을 계산하여 비선형 오차 보정부(300)로 출력하고, 상기 비선형 오차 보정부(300)로부터 출력되는 출력신호(I_x)(I_y)를 아래의 수학식에 적용하여 위상각(θ)을 구하는 위상각 측정용 마이크로 프로세서(400)를 포함하는 것을 특징으로 한다.

$$<68> \theta = \arctan(I_y/I_x)$$

<69> 더욱 상세하게는 상기 간섭계(100)는, 주파수가 서로 다른 수직·수평의 편광성분을 갖는 레이저 광속 (ω_1)(ω_2)을 발진하는 레이저(1)와, 상기 레이저 광속을 편광 광분리기(3)에 입사하기 위한 측정광과 편광판(5a)을 통해 광검출기(6a)에 입사하기 위한 기준광으로 각각 분리하는 광분리기(2)와, 상기 광분리기(2)의 기준광에서

두 레이저 광속의 간섭신호인 기준신호(I_r)를 검출하여 믹서(8a)와 90°위상 변환기(7)에 각각 공급하는 광검출기(6a)와, 상기 광분리기(2)에서 출력되는 두 레이저 광속의 측정광을 고정거울(4a)과 이동거울(4b)에 입사시켰다가 반사되는 두 레이저 광속을 다시 혼합한 후 편광판(5b)을 통해 광검출기(6b)에 공급하는 편광 광분리기(3) 및 상기 편광 광분리기(3)의 측정광에서 두 레이저 광속의 간섭신호인 측정신호(I_m)를 검출하여 믹서(8a)(8b)에 각각 공급하는 광검출기(6b)로 구성될 수 있다.

<70> 또한, 상기 90°위상 혼합부(200)는, 상기 광검출기(6a)에서 공급되는

기준신호(I_r)를 90°위상 변환시켜 믹서(8b)에 공급하는 90°위상 변환기(7)와, 상기 광검출기(6b)에서 출력되는 측정신호(I_m)에 상기 광검출기(6a)에서 출력되는 기준신호(I_r)를 혼합하는 믹서(8a)와, 상기 광검출기(6b)에서 출력되는 측정신호(I_m)에 상기 90°위상 변환기(7)를 통해 90°위상 변환된 기준신호(I_r)를 혼합하는 믹서(8b) 및 상기 믹서(8a)(8b)에서 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')로부터 고주파 성분을 필터링하여 옵셋 보정기(11a)(11b)에 각각 공급하는 저주파 필터(9a)(9b)로 구성될 수 있다.

<71> 그리고, 상기 비선형 오차 보정부(300)는, 상기 위상각 측정용 마이크로 프로세서(400)에서 출력되는 조정 전압에 의해 상기 비선형 오차 보정부(300)를 통해 피드백되는 출력신호(I_x')(I_y')의 옵셋 I_{x0} , I_{y0} 가 '0'이 되도록 보정하는 옵셋

보정기(11a)(11b)와, 상기 위상각 측정용 마이크로 프로세서(400)에서 출력되는 조정 전압에 의해 상기 비선형 오차 보정부(300)를 통해 피드백되는 출력신호(I_x')(I_y')의 진폭 a, b 가 동일한 값을 갖도록 보정하는 진폭 보정기(12a)(12b) 및 상기 위상각 측정용 마이크로 프로세서(400)에서 출력되는 조정 전압에 의해 상기 비선형 오차 보정부(300)를 통해 피드백되는 출력신호(I_x')(I_y') 사이에서 90° 를 벗어난 위상값 ϕ 가 '0'이 되도록 보정하는 위상 보정기(13)를 구비하고 있다.

<72> 특히, 상기 비선형 오차 보정부(300)의 옵셋 보정기(11a)(11b)와 진폭 보정기(12a)(12b) 그리고 위상 보정기(13)는, 서로 다른 순서로 배열하여도 동일한 효과를 얻을 수 있을 것이다.

<73> 상기 비선형 오차 보정부(300)를 이용한 오차 자동 보정 방법을 적용하지 않고 상기 90° 위상 혼합부(200)에서 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')로부터 상기 출력신호(I_x')(I_y')의 진폭 a, b 와, 옵셋 I_{x0}, I_{y0} 그리고 위상차 ϕ 등의 타원계수를 구한 후 위상각(θ)를 아래의 수학식에 적용하여 계산하여도 비선형성이 제거된 위상각(θ)을 구할 수 있을 것이다. 이 방법은 아래의 수학식 22를 계산하기 때문에 실시간적으로 비선형 오차를 보정할 수는 없다.

<74> 또한 상기 90° 위상 혼합부(200)에서 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')의 진폭 a, b 와, 옵셋 I_{x0}, I_{y0} 그리고 위상차 ϕ 등의 타원계수를 계산한 후 여러 출력신호(I_x')(I_y')

의 많은 데이터 쌍에 해당되는 위상각(θ)을 수학적 식 22로부터 구하여 출력신호 (I_x')(I_y')에 대한 위상각(θ)을 룩업 테이블(lookup table)로 작성한 후 상기 룩업 테이블로부터 상기 출력신호(I_x')(I_y')에 해당하는 위상각(θ)을 구할 수도 있다.

<75> 도면 중 미설명 부호 14는 A/D 변환기이고, 15는 D/A 변환기이며, 16는 룩업 테이블이 저장되어 있는 메모리(memory)이다.

<76> 위에서도 언급했듯이, 2 주파수 레이저 간섭계(100)에서의 비선형 오차를 갖지 않는 것이 바람직하다. 이에 의하면, 90° 위상 혼합부(200)에서 출력되는 두 출력신호(I_x')(I_y')는 도 2와 같이 위상각(θ)의 순수한 싸인, 코사인 신호일 뿐더러 진폭이 서로 같고 오프셋이 없으며 90° 의 정확한 위상 차이가 갖는다.

<77> 여기서, 위의 출력신호(I_x)(I_y)는 이동거울(4b)이 반 파장($\frac{\lambda}{2}$)만큼 이동할 때마다 한 주기씩 변하게 된다. 또한, 이들 출력신호(I_x)(I_y)에 대한 리샤쥬 그림은 도 3과 같이 완벽한 원이 그리게 된다. 따라서 위상각(θ)은 수학적 식 10과 11의 아크탄젠트(arctan), 즉 $\arctan(I_y/I_x)$ 로부터 위상각(θ)을 구할 수 있는 것이다.

<78> 하지만, 실제의 길이 측정장치에서는 불필요한 주파수의 혼합으로 광분리기(2)에서 반사된 레이저 광속이 편광 광분리기(3)에서 완벽하게 분리되지 않고 다른 주파수 성분의 빛이 약간 섞이게 된다.

<79> 다시 말하면, 진폭 A, B인 두 주파수 레이저 광속에 다른 주파수 성분이 α , β 만큼 혼합되어 편광 광분리기(3)에 의해 분리된다고 가정하면, 다른 주파수

성분(α , β)을 포함한 두 레이저 광속은 고정거울(4a)과 이동거울(4b)에서 각각 반사된 후 다시 편광 광분리기(3)에서 합해진다. 여기서, 다른 주파수 성분 α , β 는 진폭 A, B에 비해 매우 작은 양이다.

<80> 상기한 편광 광분리기(3)에 의해 합해지는 두 레이저 광속은 각각 서로 다른 광 경로(L_1)(L_2)를 거쳐 편광판(5b)을 통해 광 검출기(6b)에 의해 두 레이저 광속의 간섭신호로 검출되는데, 그 측정신호(I_m)는 아래의 수학적 식 12와 같이 표현되게 된다.

<81> **【수학적 식 12】** $I_m \propto (A^2 + B^2 + \alpha^2 + \beta^2)/2 + AB \cos[\Delta\omega t + \theta + (\theta_B - \theta_A)] + A\beta \cos[\Delta\omega t + (\theta_A - \theta_B)]$

<82> $+ B\alpha \cos[\Delta\omega t + (\theta_B - \theta_\alpha)] + A\alpha \cos[\theta + (\theta_\alpha - \theta_A)] + B\beta \cos(\theta + \theta_B - \theta_\beta)]$

<83> $+ \alpha\beta \cos[\Delta\omega t - \theta + (\theta_\beta - \theta_\alpha)]$

<84> 물론, 광검출기(6a)에 의해 검출되는 기준신호(I_r)는 종래의 기술에서와 마찬가지로 수학적 식 3의 신호와 동일하다. 위의 수학적 식 3과 수학적 식 12의 I_r , I_m 에서의 직류(DC)성분과 거의 직류성분과 유사한 성분은 도시되지 않은 고주파 필터(high-pass filter)에 의해 제거된다.

<85> 따라서, 수학적 식 3의 기준신호(I_r)와 수학적 식 12의 측정신호(I_m)는 아래의 수학적 식 13 및 14와 같이 간단한 식으로 표시된다.

<86> **【수학적 식 13】** $I_r \propto \cos(\Delta\omega t)$

<87> **【수학적 식 14】** $I_m \propto \cos(\Delta\omega t + \theta) + [(A\beta + B\alpha)/(AB)] \cos(\Delta\omega t) + (\alpha\beta)/(AB) \cos(\Delta\omega t - \theta)$

<88>
$$= \cos(\Delta\omega t + \theta) + \Gamma_1 \cos(\Delta\omega t) + \Gamma_2 \cos(\Delta\omega t - \theta)$$

<89> 여기서, Γ_1 는 $(A\beta + B\alpha)/(AB)$ 이고, Γ_2 는 $\alpha\beta/AB$ 이다.

<90> 위의 수학적식 14에서 첫째 항은 기본 맥놀이 신호이고, 둘째, 셋째 항은 비선형 오차를 일으키는 항이 된다.

<91> 위의 광검출기(6a)(6b)로부터 두 맥놀이 신호(I_r)(I_m)를 입력받은 90° 위상 혼합부(200)는 위상각(θ)의 싸인, 코싸인 신호에 거의 비례하는 신호를 출력하게 된다.

<92> 다시 말하면, 기준신호(I_r)는 90° 위상 변환기(7)에 의해 기준신호(I_r)와, 기준신호(I_r)와 90°의 위상 차이를 갖는 두 신호로 나뉘어져 각각 믹서(8a)(8b)에서 광검출기(6b)로부터 공급되는 측정신호(I_m)와 각각 곱해져 아래의 수학적식 15, 16과 같은 신호(I_x')(I_y')를 출력하게 된다.

<93> **【수학적식 15】**
$$I_x' = \cos(\Delta\omega t) [\cos(\Delta\omega t + \theta) + \Gamma_1 \cos(\Delta\omega t) + \Gamma_2 \cos(\Delta\omega t - \theta)]$$

<94> **【수학적식 16】**
$$I_y' = \sin(\Delta\omega t) [\cos(\Delta\omega t + \theta) + \Gamma_1 \cos(\Delta\omega t) + \Gamma_2 \cos(\Delta\omega t - \theta)]$$

<95> 이렇게 곱해진 두 신호(I_x')(I_y')는 저주파 필터(9a)(9b)에 의해 고주파 성분이 제거되어, 위상각(θ)을 포함하는 수학적식 17, 18과 같은 신호(I_x')(I_y')가 된다.

<96> **【수학적식 17】**
$$I_x' = [1 + \Gamma_2]/2 \cos\theta + \Gamma_1/2$$

<97> **【수학적식 18】**
$$I_y' = -[(1 - \Gamma_2)/2] \sin\theta$$

<98> 위의 수학적식 17,18을 보면, 리샤쥬 그림에서의 타원의 직경은 Γ_2 에 의해 변경되고, Γ_1 에 의해 원점이 이동됨을 알 수 있다.

<99> 도 1과 같은 종래의 기술에 의하면, 위상각(θ)은 수학적식 19로부터 직접 구하였다.

<100> **【수학적식 19】** $\theta = \arctan(I_y'/I_x')$

<101> 위의 수학적식 19는 수학적식 17,18과 같이, 레이저 간섭계가 비선형 오차 항을 갖고 있을 때 정확한 위상값을 제공하지 못한다. 따라서, 수학적식 19는 정확한 위상계산을 위하여 사용될 수 없어 수정되어야 함을 알 수 있다.

<102> 위에서 설명했듯이 주파수 혼합이 있을 경우 위상각(θ)의 싸인, 코사인 신호인 믹서(8a)(8b)로부터 출력되는 두 신호(I_x')(I_y')가 비선형 오차에 의해 변형되어 있어, 수학적식 19에 의한 위상각 계산은 정확한 위상을 제공하지 못한다는 것에 본 발명의 근거가 있다.

<103> 실제의 길이 측정장치에서는 전자장치 등의 이득(gain)이나 오프셋, 90°위상 변환기(7)에서의 90°위상 변환 등이 동일하게 이루어지지 않아 믹서(8a)(8b)로부터 출력되는 신호(I_x')(I_y')를 이론과는 달리 수학적식 20,21과 같이 표현할 수 있다.

<104> **【수학적식 20】** $I_x' = a \cos(\theta + \phi) + I_{xo}$

<105> **【수학적식 21】** $I_y' = b \sin(\theta) + I_{yo}$

<106> 여기서, a 와 b 는 진폭이고, I_{x0} 와 I_{y0} 는 오프셋, ϕ 는 90° 위상으로부터의 차이를 나타낸다.

<107> 이는 믹서(8a)(8b)에서 출력되는 신호(I_x')(I_y')가 정확한 싸인, 코사인 신호가 아니라는 것을 의미하는 것으로서, 도 5와 같이 다른 진폭, '0'이 아닌 오프셋과 90° 가 아닌 위상차를 갖는 신호임을 알 수 있다. 보다 명확하게는 도 6의 리샤쥬 그림을 보면, 축이 변환되고 직경이 다르며 원점이 이동한 타원임을 알 수 있다.

<108> 하지만, 위의 수학적식 20, 21에서 진폭 a , b 와, 오프셋 I_{x0} , I_{y0} 와, 90° 와 다른 위상차 ϕ 등을 정확하게 알 수 있다면, 오차가 보정된 위상각(θ)을 수학적식 20, 21로부터 아래의 수학적식 22를 유도하여 구할 수 있다.

<109> **【수학적식 22】** $\theta = \tan^{-1}[\cos\phi + (b/a)(I_x' - I_{x0}) / (I_y' - I_{y0})]$

<110> 위의 수학적식 22에 의해 계산된 위상각은 주파수 혼합에 의한 비선형 오차가 보정되어 있어, 위상각(θ)으로부터 이동거울(4b)의 상대적인 변위(L)을 정확하게 구할 수 있는 것이다.

<111> 만일, 2 주파수 레이저 간섭계(100)에서 비선형 오차를 갖지 않을 때, 즉 진폭 a , b 가 같고 오프셋 I_{x0} , I_{y0} 와 90° 와 다른 위상차 ϕ 가 '0'일 경우에는 수학적식 22가 수학적식 19와 같이 되어, 주파수 혼합이 없을 때와 동일한 위상값을 갖는다.

<112> 실제로 길이를 측정함에 있어, 도 4의 길이 측정을 위한 위상각 측정시스템에서와 같이, 별도의 비선형 오차 보정 없이 믹서(8a)(8b)로부터 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')를 믹서(8a)(8b) 후단의 A/D 변환기(14)를 통해 변환한 후 위상각 측정용 마이크로 프로세서(400)에 입력하면, 위상각 측정용 마이크로 프로세서

(400)는 상기한 출력신호(I_x')(I_y')와 그로부터 계산된 타원계수를 위의 수학식 22에 적용하여 해당 출력신호(I_x')(I_y')에 대한 위상각(θ)을 매번 계산하여 간섭계(100)에서의 비선형 오차를 보정할 수도 있으나 이 경우 수학식 22를 계산하는데 많은 시간이 소요되는 관계로 측정 중에 수학식 22를 계산하여 오차를 보정하는 방법은 실시간 측정에 적용하는데 한계가 있다.

<113> 따라서, 보다 빠른 보정을 위해 도 4에와 같이 믹서(8a)(8b)로부터 출력되는 신호(I_x')(I_y')에 대한 많은 데이터 쌍의 위상각(θ)을 수학식 22를 기초로 미리 계산하여 비선형 오차 보정 없이 위상각 측정용 마이크로 프로세서(400)에 연결되어 있는 메모리(16)에 룩업 테이블(lookup table)로 저장하였다가 믹서(8a)(8b)로부터 출력되는 신호(I_x')(I_y')가 입력될 때마다 그에 대응되는 위상각(θ)을 룩업 테이블로부터 찾아 보정할 수 있을 것이다.

<114> 다시 말하면, 위상각 측정용 마이크로 프로세서(400)는 A/D 변환기(14)를 통해 입력되는 신호(I_x)(I_y)값을 읽은 후 이 신호(I_x)(I_y)값에 해당하는 데이터 쌍의 위상각(θ)을 위상각 측정용 마이크로 프로세서(400)에 연결되어 있는 메모리(16)의 룩업 테이블로부터 취하면 수학식 22에 의한 별도의 계산하는 과정 없이도 빠른 시간 내에 위상각(θ)을 알 수 있다.

<115> 이와 같은 룩업 테이블을 이용한 방법으로 실시간에 가깝게 위상값을 구할 수 있으나, 진폭 a, b 와 오프셋 I_{x0}, I_{y0} 등의 타원계수가 길이를 측정하는 중에 변할 경우에는 정확한 위상값을 얻을 수 없다.

<116> 만약, 수학식 20,21에서 믹서(8a)(8b)로부터 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')를 전
 자적으로 조정하여 수학식 10,11과 같이 보정 즉, 진폭 a와 b가 같고 오프셋 I_{x0} 와
 I_{y0} 가 '0'이 되도록 조정하면, 수학식 22에 의해 계산하지 않고 수학식 19로부터
 위상을 정확하게 구할 수 있는 것이다.

<117> 위의 수학식 19에 의해 위상을 구하는 방법에 대해서는 앞선 설명으로도 당업자
 가 충분히 실시 가능하기에 구체적으로 설명하지 않는다.

<118> 도 5에 의하면, 90° 위상 혼합부(200)로부터 출력되는 두 출력신호(I_x')(I_y'), 즉
 저주파 필터(9a)(9b)에서 출력되는 두 출력신호(I_x')(I_y')는 비선형 오차 보정
 부(300)의 오프셋 보정기(11a)(11b)에 각각 입력되게 된다.

<119> 그리고, 오프셋 보정기(11a)에 입력된 출력신호(I_x')(I_y')는 진폭 보정기(12a)와
 위상 보정기(13)를 통해 최종적으로 보정된 출력신호(I_x)로 A/D 변환기(14)를 통
 해 위상각 측정용 마이크로 프로세서(400)로 입력되고, 오프셋 보정기(11b)에 입력
 되는 출력신호(I_x')(I_y')는 진폭 보정기(12b)만을 통해 A/D 변환기(14)를 통해
 출력신호(I_y)로 위상각 측정용 마이크로 프로세서(400)로 입력되게 된다.

<120> 뿐만 아니라, 위의 진폭 보정기(12b)의 출력과 위상 보정기(13)의 출력은 A/D 변
 환기(14)에 의해 각각 디지털 상태로 변환되어 마이크로 프로세서(400)에 입력되
 게 된다. 이어서, 위상각 측정용 마이크로 프로세서(400)는 진폭 보정기(12b)와
 위상 보정기(13)의 출력신호를 기초로 하여 진폭 a,b와 오프셋 I_{x0} , I_{y0} 등의 타원
 계수를 계산하고, 오프셋, 진폭, 위상 등의 비선형 오차를 보정하기 위한 피드백
 전압(feedback voltage), 즉 보정을 위한 조정 전압을 결정하게 된다.

<121> 그리고 나서, 위상각 측정용 마이크로 프로세서(400)는 5개의 피드백 전압, 즉 조정전압을 D/A 변환기(15)를 통해 비선형 오차 보정부(300)로 피드백시켜 90° 위상 혼합부(200) 즉, 믹서(9a)(9b)에서 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')의 오프셋과 진폭 그리고 위상을 보정하게 된다.

<122> 다시 말하면, 위상각 측정용 마이크로 프로세서(400)로부터 출력된 조정전압이 D/A 변환기(15)를 통해 오프셋 보정기(11a)(11b)에 각각 입력되어, 믹서(9a)(9b)로부터 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')의 오프셋 I_{x0} 와 I_{y0} 가 '0'이 되도록 보정되게 된다. 또한, 위상각 측정용 마이크로 프로세서(400)로부터 출력된 조정전압이 D/A 변환기(15)를 통해 진폭 보정기(12a)(12b)에 각각 입력되어, 오프셋 보정기(11a)(11b)를 통한 출력신호(I_x')(I_y')의 진폭 a와 b가 동일한 값을 갖도록 보정되게 된다. 마지막으로, 위상각 측정용 마이크로 프로세서(400)로부터 공급되는 조정전압을 입력받은 위상 보정기(13)는 오프셋 보정기(11a)(11b)와 진폭 보정기(12a)(12b)를 통한 두 출력신호(I_x')(I_y')의 위상 차이가 90° 가 나도록, 즉 위상차(φ)가 '0'이 되도록 보정되게 된다.

<123> 따라서, 간섭계(100)에서 발생한 출력신호(I_x')(I_y')의 진폭 a, b와 오프셋 I_{x0} , I_{y0} 그리고 위상차(φ) 등의 비선형 오차가 비선형 오차 보정부(300)에 의해 보정되므로 최종적으로 위상각 측정용 마이크로 프로세서(400)에 입력되는 출력신호(I_x)(I_y)는 수학식 10, 11과 같은 순수한 싸인, 코사인 신호가 된다.

<124> 상기한 두 출력신호(I_x)(I_y)를 입력받은 위상각 측정용 마이크로 프로세서(400)는 내부의 아크탄젠트 함수(arctangent function)를 하는 위상 계산회로에 의해

정확한 위상을 계산하고, 이를 기초로 하여 이동거울(4b)의 이동량을 계산하게 된다.

<125> 본 발명의 다른 실시예로서는 위의 비선형 오차 보정부(300)에서 옙셋 보정기(11a)(11b)와 진폭 보정기(12a)(12b) 그리고 위상 보정기(13)의 순서를 서로 바꾸어 배치하여도 본 발명의 목적을 달성할 수 있다.

<126> 본 발명의 성능시험을 위하여 도 4와 같은 본 발명에 의한 장치의 두 곳으로부터의 출력, 즉 믹서(9a)(9b)로부터 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')와 비선형 오차 보정부(300)로부터 최종적으로 출력되는 출력신호(I_x)(I_y)를 각각 도시되지 않은 데이터 입출력보드(data acquisition board)의 A/D 변환기를 통해 성능시험을 위한 소정의 알고리즘이 내장된 성능시험용 컴퓨터에 입력함으로써 본 발명의 비선형 오차 보정부(300)에 의한 옙셋, 진폭, 위상 등의 보정으로 비선형 오차가 제거된 결과를 모니터링 할 수 있다.

<127> 즉, 각 출력신호(I_x')(I_y')(I_x)(I_y)의 잔류 오차(residual error)를 측정함으로써 출력신호(I_x')(I_y')는 비선형 오차가 보정되기 이전, 즉 종래의 기술로부터 얻을 수 있는 신호이고, 출력신호(I_x)(I_y)는 본 발명의 비선형 오차 보정부(300)에 의해 옙셋, 진폭, 위상 등이 보정되어 비선형 오차가 제거된 신호임을 확인할 수 있다.

<128> 이러한 성능시험을 위해서는 도 5의 2 주파수 레이저 간섭계(100)를 설치하는데, 이때 이동거울(4b)은 피에조 변환기(Piezo transducer)에 의해 아주 작은 길이(수십 μm)를 움직일 수 있는 이동대 위에 설치하는 것이 바람직하다.

<129> 이동거울(4b)이 서서히 이동하는 중에 성능시험용 컴퓨터는 믹서(9a)(9b)로부터의 출력신호(I_x')(I_y')와 비선형 오차 보정부(300)로부터의 출력신호(I_x)(I_y)를 각각 입력받아 위의 수학식 20,21의 타원곡선에 적용(fitting)하여 각 출력신호(I_x')(I_y')(I_x)(I_y)에 대한 타원계수를 각각 구한다. 이렇게 얻어진 타원계수를 수학식 19와 22에 각각 대입하여 각각 위상을 구한 후 위의 수학식 19와 22로 구한 위상값의 차이로부터 잔류오차를 계산한다.

<130> 이렇게 컴퓨터에 의해 계산된 잔류오차는 간섭계(100)의 오차 또는 비선형 오차 보정부(300)를 구비한 간섭계(100)의 오차로 계산에 의해 구해진 비선형 오차로서, 이는 도 8과 같이 출력신호(I_x')(I_y')에 대한 결과는 점선으로 표시되고, 출력신호(I_x)(I_y)에 대한 결과는 실선으로 표시된다.

<131> 즉, 도 8에 의하면, 비선형 오차 보정부(300)에 의해 옅썬, 진폭, 위상 등의 보정이 이루어진 경우의 출력신호(I_x)(I_y)가 비선형 오차 보정부(300)에 의해 보정이 이루어지기 이전의 출력신호(I_x')(I_y') 보다 훨씬 작은 잔류오차를 가지고 있음을 알 수 있다.

<132> 본 발명의 성능을 보다 정량적으로 분석하기 위해 2 주파수 레이저 간섭계(100)의 값과 정전용량형 길이 측정기의 값을 동시에 비교하기로 한다.

<133> 먼저, 위의 방법과 마찬가지로 2 주파수 간섭계(100)를 설치한 후 피에조 변환기를 이용하여 이동거울(4b)을 천천히 이동시켜 가면서 2 주파수 레이저 간섭계(100)로부터 얻어진 두 쌍의 출력신호(I_x')(I_y')(I_x)(I_y)와 정전용량형 길이 측정기에 의해 측정된 출력을 컴퓨터에 동시에 입력하게 된다.

<134> 위의 출력신호(I_x')(I_y')의 아크탄젠트, 즉 수학식 19로 계산하여 얻어진 즉, 비선형 오차가 보정되지 않은 이동거울(4b)의 이동량과 정전용량형 길이 측정기의 출력을 선형 적용(linear fitting)한 결과의 차이가 도 9에서 +자 선으로 표시되어 있다. 다시 말하면, 2 주파수 레이저 간섭계(100)의 비선형 오차로 인한 주기적인 정현파(sinusoidal wave)의 신호와 정전용량형 길이 측정기의 비선형 오차인 아주 완만한 오차를 도 9의 그래프에서 확인할 수 있다.

<135> 또한, 위의 출력신호(I_x)(I_y)의 아크탄젠트, 즉 수학식 19로 계산하여 얻어진 즉, 비선형 오차 보정부(300)에 의해 오프셋, 진폭, 위상 등을 보정한 상태에서의 이동거울(4b)의 이동량과 정전용량형 길이 측정기의 출력을 5차식 적용(5th order polynominal fitting)한 결과의 차이가 도 9에서 실선으로 표시되어 있다. 이 경우 정현파의 주기적인 신호가 제거됨을 알 수 있다. 즉, 이는 본 발명의 2 주파수 레이저 간섭계(100)의 비선형 오차가 제거됨을 보여준다.

<136> 도 8과 도 9에 의하면, 본 발명의 적용으로 2 주파수 레이저 간섭계(100)의 비선형 오차가 제거되어, 비선형 오차가 제거되지 않은 종래 기술에 비해 길이 측정의 정확도가 향상됨을 알 수 있다.

【발명의 효과】

<137> 따라서, 본 발명에 의하면 2 주파수 레이저 간섭계에서 발생하는 주기적인 비선형 오차를 출력신호의 오프셋, 진폭, 위상 등의 보정으로 제거함으로써 2 주파수 레이저 간섭계를 이용한 길이 측정의 정확도를 크게 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

<138> 이상에서 본 발명은 기재된 구체적인 실시예에 대해서만 상세히 설명되었지만 본 발명의 기술 사상 범위 내에서 다양한 변형 및 수정이 가능함은 당업자에게 있어서 명백한 것이며, 이러한 변형 및 수정이 첨부된 특허청구범위에 속함은 당연한 것이다.

【특허청구범위】

【청구항 1】

2 주파수 레이저 간섭계와 90° 위상 혼합부 및 위상각 측정용 마이크로 프로세서를 구비하며, 고정 및 이동거울에 반사된 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 길이 측정을 위한 측정신호(I_m)에 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 기준신호(I_r)와 90° 위상 변환된 기준신호(I_r)를 혼합한 후 이로부터 고주파 성분을 필터링하여 출력신호(I_x')(I_y')를 생성하고, 이로부터 길이 측정을 위한 위상각(θ)을 구하는 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정방법에 있어서,

상기 90° 위상 혼합부에서 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')와, 이에 포함되어 있는 진폭 a, b 와 오프셋 I_{x0}, I_{y0} 그리고 위상차 ϕ 등의 타원계수를 구하고, 이를 아래의 수학적식에 적용하여 위상각(θ)을 계산하는 것을 특징으로 하는 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정방법.

$$\theta = \tan^{-1} [\cos \phi + (b/a)(I_x' - I_{x0}) / (I_y' - I_{y0})]$$

【청구항 2】

2 주파수 레이저 간섭계와 90° 위상 혼합부 및 위상각 측정용 마이크로 프로세서를 구비하며, 고정 및 이동거울에 반사된 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 길이 측정을 위한 측정신호(I_m)에 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 기준신호(I_r)와 90° 위상 변환된 기준신호(I_r)를 혼합한 후 이로부터 고주파 성분을 필터링하여 출력신호(I_x')(I_y')를 생성하고, 이로부터 길이 측정을 위한

위상각(θ)을 구하는 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정방법에 있어서,

상기 90°위상 혼합부에서 출력되는 여러 가지의 출력신호(I_x')(I_y')와, 이에 포함되어 있는 진폭 a, b 와 오프셋 I_{x0}, I_{y0} 그리고 위상차 ϕ 등의 타원계수를 아래의 수학적식에 적용하여 위상각(θ)을 계산한 후 각 출력신호(I_x')(I_y')와 이로부터 계산된 위상각(θ)을 한 쌍으로 하는 룩업 테이블(lookup table)을 작성하여, 위상각(θ)을 측정할 때 상기 90°위상 혼합부에서 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')와 한 쌍을 이루는 위상각(θ)을 상기 룩업 테이블로부터 읽어내는 것을 특징으로 하는 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정방법.

$$\theta = \tan^{-1} [\cos \phi + (b/a)(I_x' - I_{x0}) / (I_y' - I_{y0})]$$

【청구항 3】

2 주파수 레이저 간섭계와 90°위상 혼합부 및 위상각 측정용 마이크로 프로세서를 구비하며, 고정 및 이동거울에 반사된 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 길이 측정을 위한 측정신호(I_m)에 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 기준신호(I_r)와 90°위상 변환된 기준신호(I_r)를 혼합한 후 이로부터 고주파 성분을 필터링하여 출력신호(I_x')(I_y')를 생성하고, 이로부터 길이 측정을 위한 위상각(θ)을 구하는 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 비선형 오차 보상방법에 있어서,

상기 비선형 오차 보정부에서 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')의 진폭 a, b 와 오프셋 I_{x0}, I_{y0} 그리고 위상차 ϕ 등의 타원계수를 계산하는 제 1단계;

상기 출력신호(I_x')(I_y')와 타원계수로부터 출력신호(I_x')(I_y')의 오프셋과 진폭 그리고 위상을 보정하기 위한 조정 전압을 계산하는 제 2단계;

상기 조정 전압에 의해 상기 비선형 오차 보정부에서 출력되는

출력신호(I_x')(I_y')의 오프셋 I_{x0}, I_{y0} 가 '0'이 되고, 진폭 a, b 가 동일한 값을 갖으며, 출력신호(I_x')(I_y') 사이에서 90° 를 벗어난 위상차 φ 가 '0'이 되도록 보정하는 제 3단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 비선형 오차 보상방법.

【청구항 4】

2 주파수 레이저 간섭계와 90° 위상 혼합부 및 위상각 측정용 마이크로 프로세서를 구비하며, 고정 및 이동거울에 반사된 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 길이 측정을 위한 측정신호(I_m)에 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 기준신호(I_r)와 90° 위상 변환된 기준신호(I_r)를 혼합한 후 이로부터 고주파 성분을 필터링하여 출력신호(I_x')(I_y')를 생성하고, 이로부터 길이 측정을 위한 위상각(θ)을 구하는 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정방법에 있어서,

상기 비선형 오차 보정부에서 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')의 진폭 a, b 와 오프셋 I_{x0}, I_{y0} 그리고 위상차 φ 등의 타원계수를 계산하는 제 1단계;

상기 출력신호(I_x')(I_y')와 타원계수로부터 출력신호(I_x')(I_y')의 오프셋과 진폭 그리고 위상을 보정하기 위한 조정 전압을 계산하는 제 2단계; 및

상기 조정 전압에 의해 상기 비선형 오차 보정부에서 출력되는

출력신호(I_x')(I_y')의 오프셋 I_{x0}, I_{y0} 가 '0'이 되고, 진폭 a, b 가 동일한 값을 갖으며, 출력신호(I_x')(I_y') 사이에서 90° 를 벗어난 위상차 φ 가 '0'이 되도록 보정하는 제 3단계; 및

상기 출력신호(I_x')(I_y')의 오프셋, 진폭, 위상이 보정된 출력신호(I_x)(I_y)를 아래의 수학식에 적용하여 위상각(θ)을 계산하는 제 4단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정방법.

$$\theta = \arctan(I_y/I_x)$$

【청구항 5】

두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 기준신호(I_r)와 고정 및 이동거울 (4a)(4b)에 반사된 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 길이 측정을 위한 측정신호(I_m)를 출력하는 2 주파수 레이저 간섭계(100);

상기 간섭계(100)에서 출력되는 측정신호(I_m)에 기준신호(I_r)와 90° 위상 변환된 기준신호(I_r)를 각각 혼합한 후 고주파 성분을 필터링하여 위상 감지를 위한 출력신호(I_x')(I_y')를 출력하는 90° 위상 혼합부(200);

하기의 위상각 측정용 마이크로 프로세서(400)로부터 조정 전압을 입력받아 비선형 오차 보정부(300)를 통해 피드백(feedback)되는 출력신호(I_x')(I_y')의 오프셋 I_{x0}, I_{y0} 가 '0'이 되고, 진폭 a, b 가 동일한 값을 갖으며, 출력신호(I_x')(I_y') 사이

에서 90° 를 벗어난 위상차 φ 가 '0'이 되도록 보정하는 비선형 오차 보정부(300); 및

상기 비선형 오차 보정부(300)에서 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')를 피드백 받아 상기 출력신호(I_x')(I_y')의 진폭 a, b 와, 옵셋 I_{x0}, I_{y0} 그리고 위상차 φ 등의 타원계수를 구하고, 이로부터 출력신호(I_x')(I_y')의 진폭과 옵셋, 위상을 보정하기 위한 조정 전압을 계산하여 비선형 오차 보정부(300)로 출력하고, 상기 비선형 오차 보정부(300)로부터 출력되는 출력신호(I_x)(I_y)를 아래의 수학식에 적용하여 위상각(θ)을 구하는 위상각 측정용 마이크로 프로세서(400);

를 포함하는 것을 특징으로 하는 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정시스템.

$$\theta = \arctan(I_y/I_x)$$

【청구항 6】

제 5항에 있어서,

상기 간섭계(100)는, 주파수가 서로 다른 수직·수평의 편광성분을 갖는 레이저 광속 (ω_1)(ω_2)을 발진하는 레이저(1);

상기 레이저 광속을 편광 광분리기(3)에 입사하기 위한 측정광과 편광판(5a)을 통해 광검출기(6a)에 입사하기 위한 기준광으로 각각 분리하는 광분리기(2);

상기 광분리기(2)의 기준광에서 두 레이저 광속의 간섭신호인 기준신호(I_r)를 검출하여 믹서(8a)와 90° 위상 변환기(7)에 각각 공급하는 광검출기(6a);

상기 광분리기(2)에서 출력되는 두 레이저 광속의 측정광을 고정거울(4a)과 이동 거울(4b)에 입사시켰다가 반사되는 두 레이저 광속을 다시 혼합한 후 편광판(5b)을 통해 광검출기(6b)에 공급하는 편광 광분리기(3); 및

상기 편광 광분리기(3)의 측정광에서 두 레이저 광속의 간섭신호인 측정신호(I_m)를 검출하여 믹서(8a)(8b)에 각각 공급하는 광검출기(6b);

를 포함하는 것을 특징으로 하는 상기 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정시스템.

【청구항 7】

제 5항에 있어서,

상기 90°위상 혼합부(200)는, 상기 광검출기(6a)에서 공급되는 기준신호(I_r)를 90°위상 변환시켜 믹서(8b)에 공급하는 90°위상 변환기(7);

상기 광검출기(6b)에서 출력되는 측정신호(I_m)에 상기 광검출기(6a)에서 출력되는 기준신호(I_r)를 혼합하는 믹서(8a);

상기 광검출기(6b)에서 출력되는 측정신호(I_m)에 상기 90°위상 변환기(7)를 통해 90°위상 변환된 기준신호(I_r)를 혼합하는 믹서(8b); 및

상기 믹서(8a)(8b)에서 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')로부터 고주파 성분을 필터링하여 옵셋 보정기(11a)(11b)에 각각 공급하는 저주파 필터(9a)(9b);

를 포함하는 것을 특징으로 하는 상기 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정시스템.

【청구항 8】

제 5항에 있어서,

상기 비선형 오차 보정부(300)는, 상기 위상각 측정용 마이크로 프로세서(400)에서 출력되는 조정 전압에 의해 상기 비선형 오차 보정부(300)를 통해 피드백되는 출력신호 (I_x')(I_y')의 오프셋 I_{xo}, I_{yo} 가 '0'이 되도록 보정하는 오프셋 보정기(11a)(11b);

상기 위상각 측정용 마이크로 프로세서(400)에서 출력되는 조정 전압에 의해 상기 비선형 오차 보정부(300)를 통해 피드백되는 출력신호(I_x')(I_y')의 진폭 a, b 가 동일한 값을 갖도록 보정하는 진폭 보정기(12a)(12b); 및


상기 위상각 측정용 마이크로 프로세서(400)에서 출력되는 조정 전압에 의해 상기 비선형 오차 보정부(300)를 통해 피드백되는 출력신호(I_x')(I_y') 사이에서 90° 를 벗어난 위상값 φ 가 '0'이 되도록 보정하는 위상 보정기(13);

를 포함하는 것을 특징으로 하는 상기 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정시스템.

【청구항 9】

제 5항 또는 제 8항에 있어서,

상기 비선형 오차 보정부(300)의 오프셋 보정기(11a)(11b)와 진폭 보정기(12a)(12b) 그리고 위상 보정기(13a)(14b)는, 서로 다른 순서로 배열 가능한 것을 특징으로 하는 상기 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정시스템.

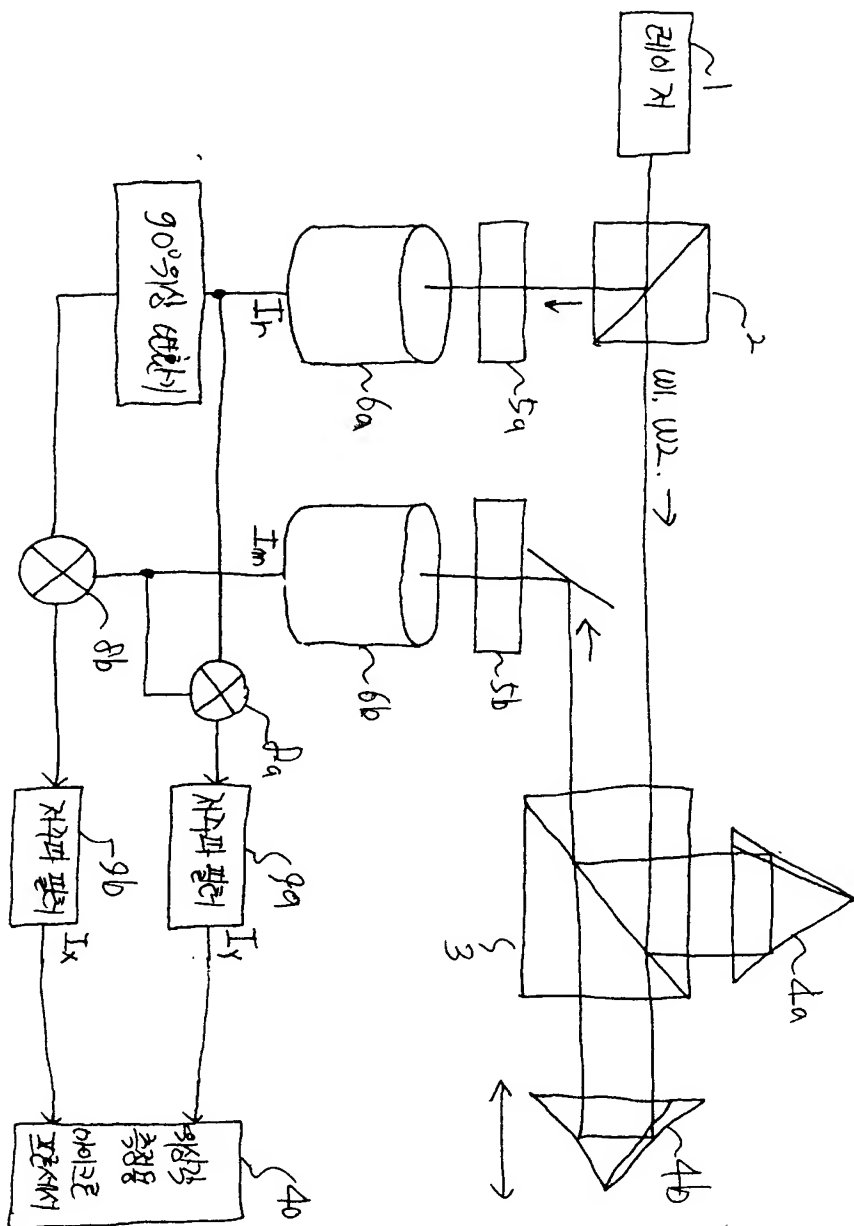


1020010048463

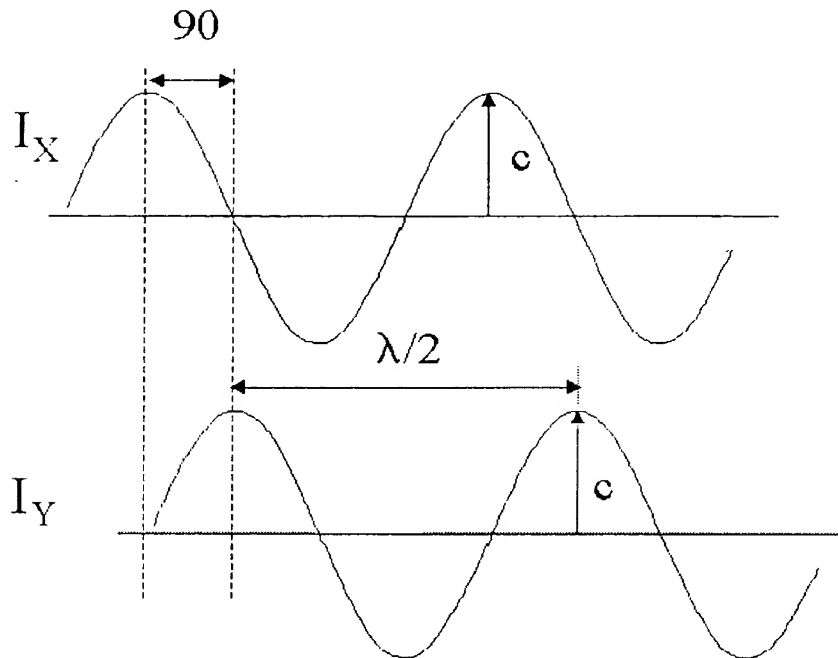
출력 일자: 2001/11/19

【도면】

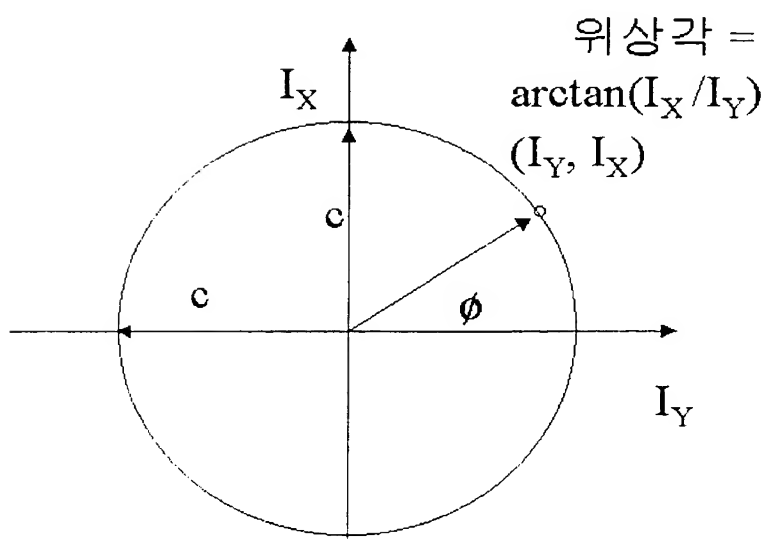
【도 1】



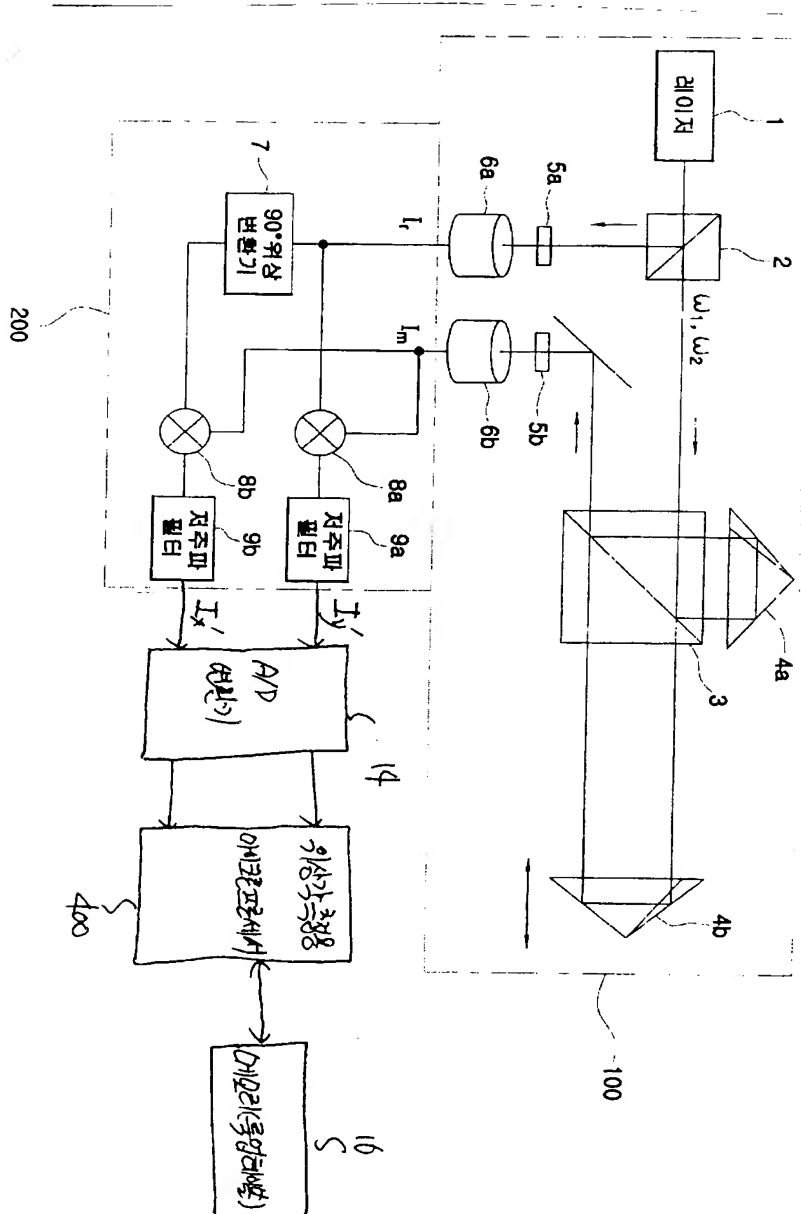
【도 2】



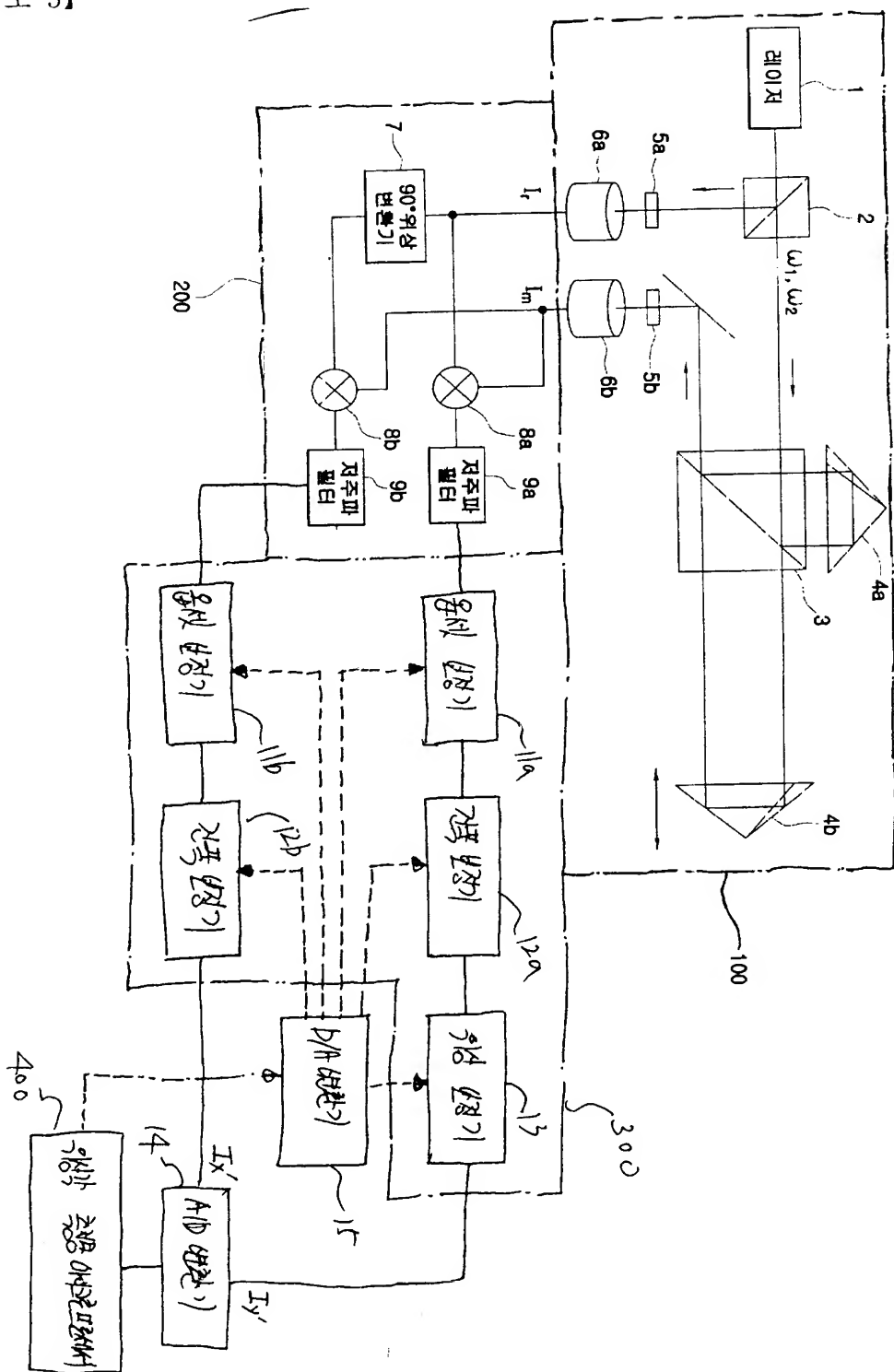
【도 3】



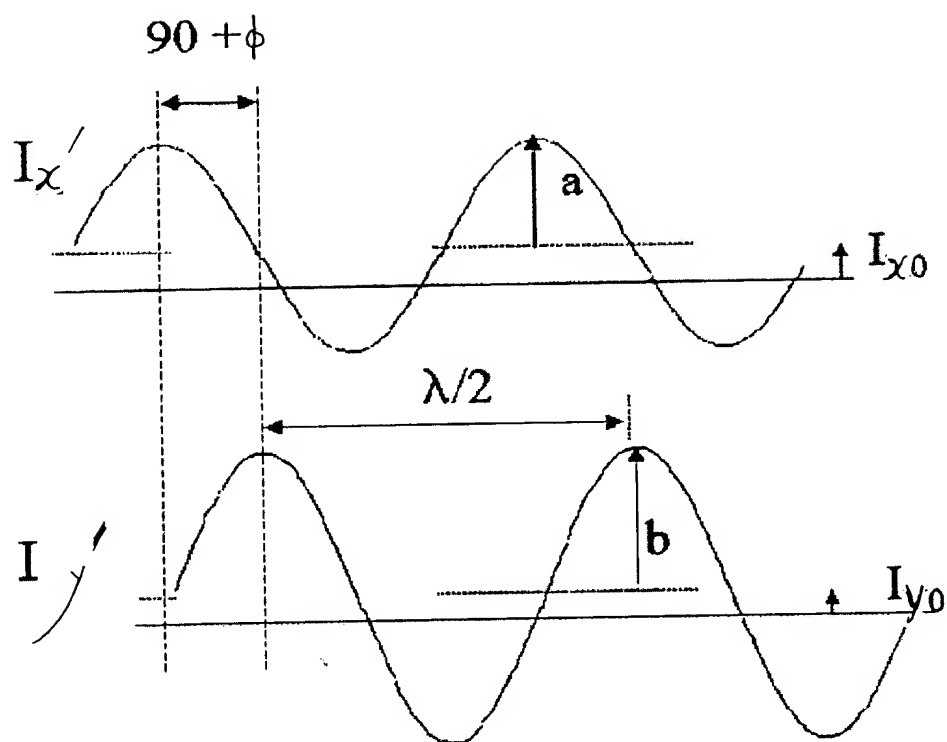
【도 4】



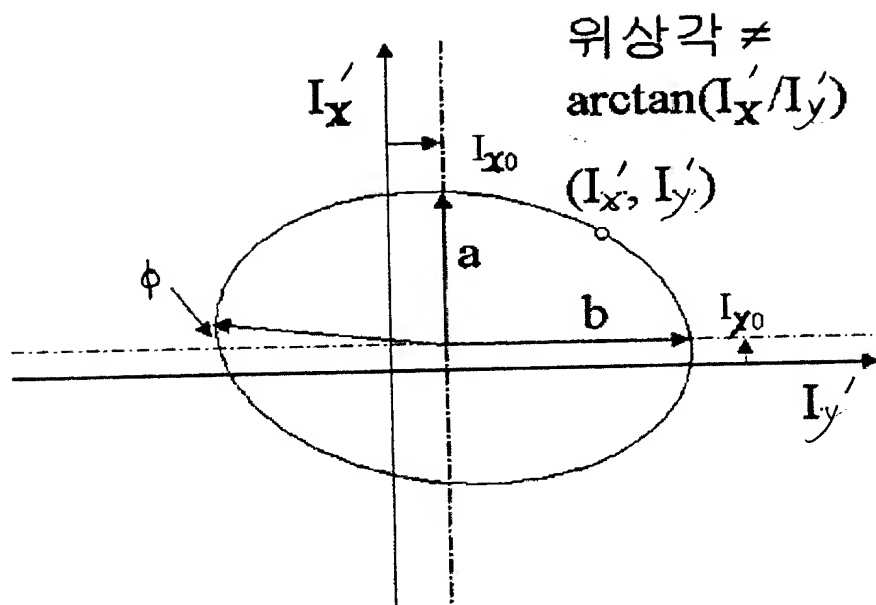
【도 5】



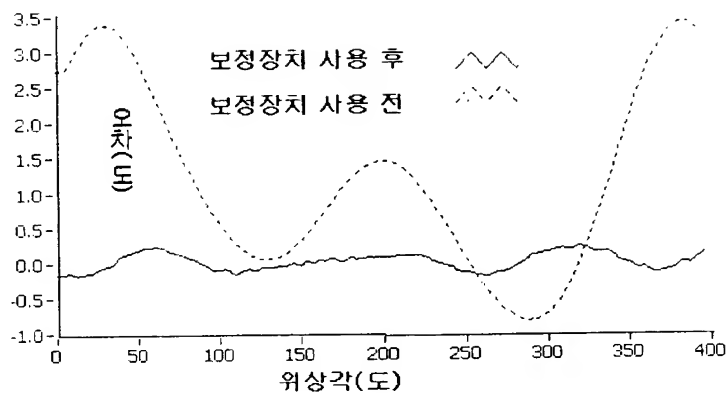
【도 6】



【도 7】



【도 8】



【도 9】

